REGIONE LOMBARDIA

COMUNE di MILANO

Provincia di MILANO

ELETTRODOTTO AT 220 kW IN CAVO MIL05

COMMITTENTE: STF Engineering SRL

LOCALITÀ: MILANO (MI)

CERTIFICATO PROVE IN SITU

GeoTechnology 4.0 SRL

IL GEOLOGO

Dott. Giovanni Paolo Ottomanelli

ORDINE DEI GEOLOGI PUGLIA
geologo
GIOVANNI PAOLO
OTTOMANELLI
N. 877

INDICE

1. PREMESSA **3**

2. SONDAGGI GEOGNOSTICI E CONSIDERAZIONI IDROGEOLOGICHE **4**

3. TOMOGRAFIE ELETTRICHE **10**

4. RESISTIVITÀ TERMICA **15**

1. PREMESSA

Il sottoscritto:

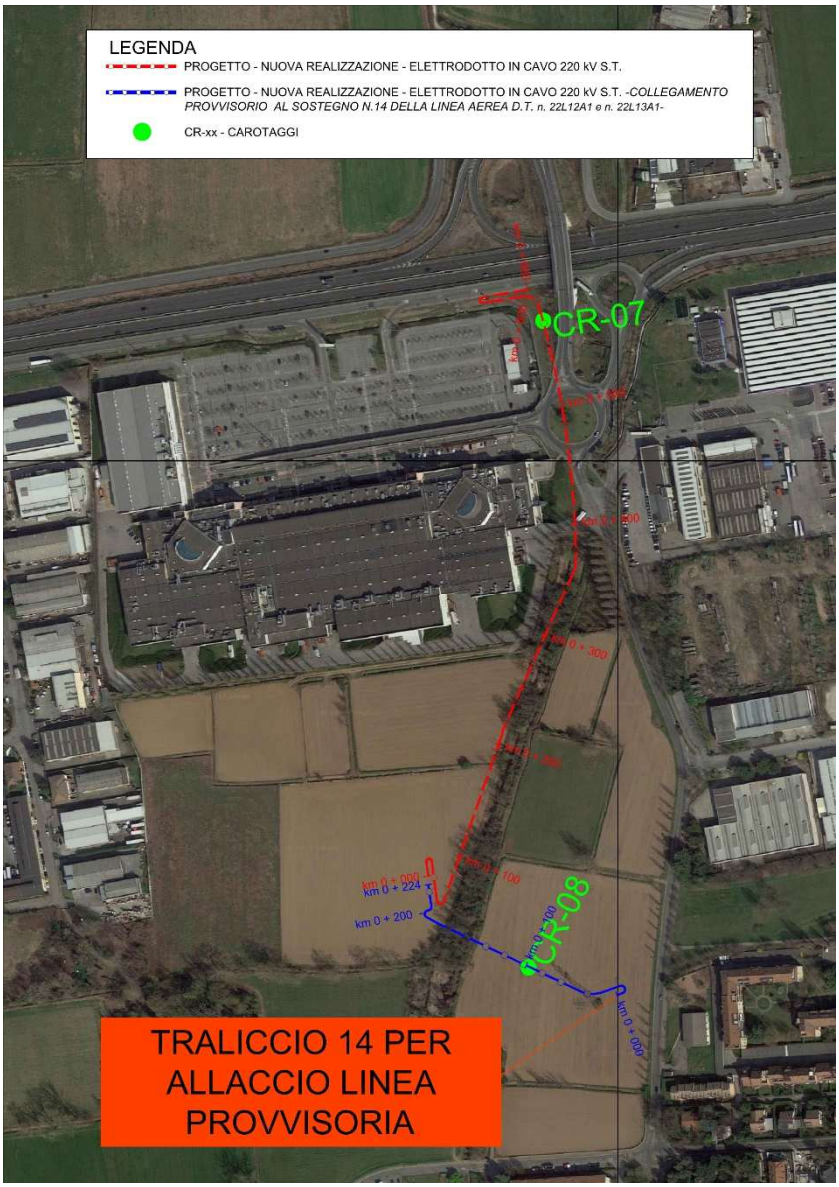
Geologo Ottomanelli Giovanni Paolo nato a Bari (BA) il 25/08/1980 (C.F. **TTMGNN80M25A662M**) e residente in Bari (BA) alla Via Vito Vittorio Lenoci n° 4, iscritto all'Albo Professionale dell'*Ordine dei Geologi della Regione Puglia* al **n° 877** - sez. A "**Geologi Specialisti**", per conto della **GeoTechnology 4.0 SRL**, avente sede in Bari (BA) alla Via Amendola N° 170/11, ha eseguito uno studio di carattere geologico nel tenimento del Comune di **MILANO (MI)** a corredo del Progetto denominato: **ELETTRODOTTO AT 220 kW IN CAVO MIL 05** su incarico del committente **STF Engineering SRL**

Il presente documento raccoglie tutte le metodologie e relativi risultati delle prove geotecniche eseguite in sito nell'area d'indagine.

Numero e tipologie di prove geognostiche, geotecniche e geofisiche eseguite in situ:

- N° 2 Sondaggi Geognostici a Carotaggio Continuo, spinti fino ad un massimo di -8,0 m da p.c.;
- N° 1 Prospezioni Geofisiche tipo Tomografie Elettriche (ERT) con metodologia Wenner-Schlumberger;
- N° 1Prospezioni Geofisiche tipo Resistività Termica (RT).

2. SONDAGGI GEOGNOSTICI E CONSIDERAZIONI IDROGEOLOGICHE


LEGENDA
PROGETTO - NUOVA REALIZZAZIONE - ELETTRODOTTO IN CAVO 220 kV S.T.
PROGETTO - NUOVA REALIZZAZIONE - ELETTRODOTTO IN CAVO 220 kV S.T. -COLLEGAMENTO PROVVISORIO AL SOSTEGNO N.14 DELLA LINEA AEREA D.T. n. 22L12A1 e n. 22L13A1-
CR-xx - CAROTAGGI
CR-07
CR-08
km 0 + 224
km 0 + 200
km 0 + 000
TRALICCIO 14 PER ALLACCIO LINEA PROVVISORIA

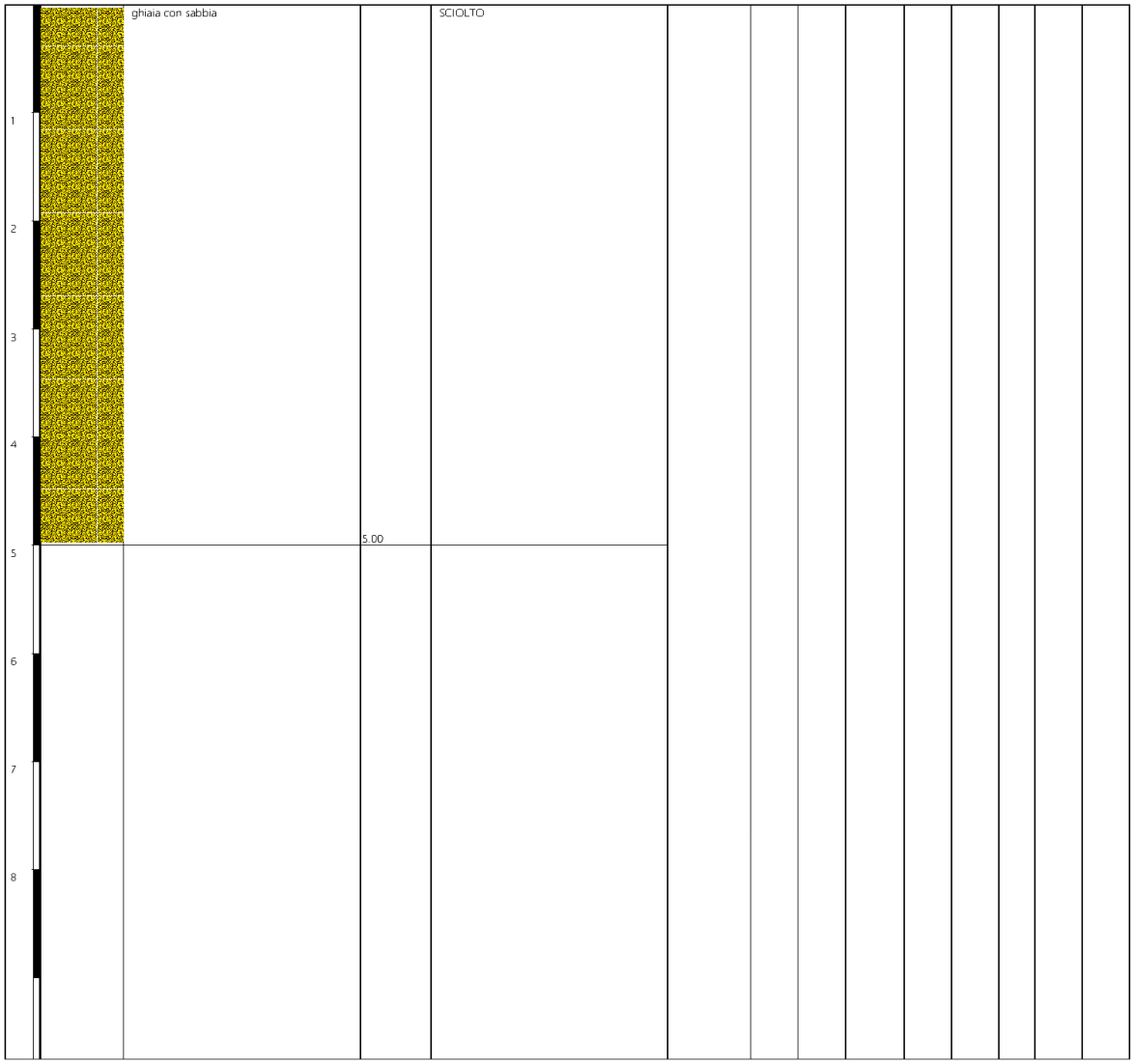
SONDAGGIO	LAT (°) WGS 8433 N	LON (°) WGS 8433 N	z (m)
CR-07	45.50493820	9.37284625	124
CR-08	45.50006009	9.37264560	121

Figura 1: Planimetria delle indagini in sito con relative coordinate

CR 07

Figura 2: CR 07 CASSETTA CATALOGATRICE7 DA 0.00 A 5.00

Committente	Cantiere	Indagine	Riferimento	Sondaggio
	MIL-06	SONDAGGIO SPINTO A -5 m da p.c.		CR 7
Responsabile	**Tipo Carotaggio**	**Tipo Sonda**	**Profondità Raggiunta**	**Quota Ass. P.C.**
Dott. Geol. Ottomanelli Giovanni Paolo			- 5 m	
Inizio Esecuzione	**Termine Esecuzione**	**Certificato n°**	**Casse Catalogatrici**	**Note1**
25/11/2023	25/11/2023	07		



Campioni: S-Pareti Sottili, O-Osterberg, M-Mazier, R-Rimaneggiato , Rs-Rimaneggiato da SPT
Perforazione: CS-Carotiere Semplice, CD-Carotiere Doppio, EC-Elica Continua
Stabilizzazione: RM-Rivestimento Metallico, FB-Fanghi Betonitici
Prove SPT: PA-Punta Aperta, PC-Punta Chiusa

CR 08

Figura 3: CR 08 CASSETTA CATALOGATRICE8 DA 0.00 A 6.00

Committente	Cantiere	Indagine	Riferimento	Sondaggio
	MIL-06	SONDAGGIO SPINTO A -6 m da p.c.		CR 8
Responsabile	**Tipo Carotaggio**	**Tipo Sonda**	**Profondità Raggiunta**	**Quota Ass. P.C.**
Dott. Geol. Ottomanelli Giovanni Paolo			- 6 m	
Inizio Esecuzione	**Termine Esecuzione**	**Certificato n°**	**Casse Catalogatrici**	**Note1**
25/11/2023	25/11/2023	08		

Scala [m]	Litologia	Descrizione	Quota	Parametri geotecnici	S.P.T.	Pocket [kg/cm²]	Vane Test [kg/cm²]	Campioni	Perforazione	Stabilizzazione	Cass.Catalog.	Falda	User1
1		ghiaia con sabbia		SCIOLTO									
2													
3													
4													
5													
6			6.00										
7													
8													

Campioni: S-Pareti Sottili, O-Osterberg, M-Mazier, R-Rimaneggiato , Rs-Rimaneggiato da SPT
Perforazione: CS-Carotiere Semplice, CD-Carotiere Doppio, EC-Elica Continua
Stabilizzazione: RM-Rivestimento Metallico, FB-Fanghi Betonitici
Prove SPT: PA-Punta Aperta, PC-Punta Chiusa

Considerazioni

Dallo studio dei dati di letteratura e delle indagini eseguite in situ, in particolare dei sondaggi geognostici è possibile affermare il terreno è prevalentemente sciolto e costituito da una miscela di sabbie, limi e ghiaie variamente combinate nei primi 3-4 m, e al di sotto di essi vi è la stessa miscela, ma a differenza dei primi metri ingloba dei ciottoli più grossolani.

FALDA:

I sondaggi geognostici eseguiti lungo il percorso del cavidotto hanno messo in evidenza la presenza di una falda superficiale. La stessa è stata individuata a una profondità media di -4.5 m da p.c.

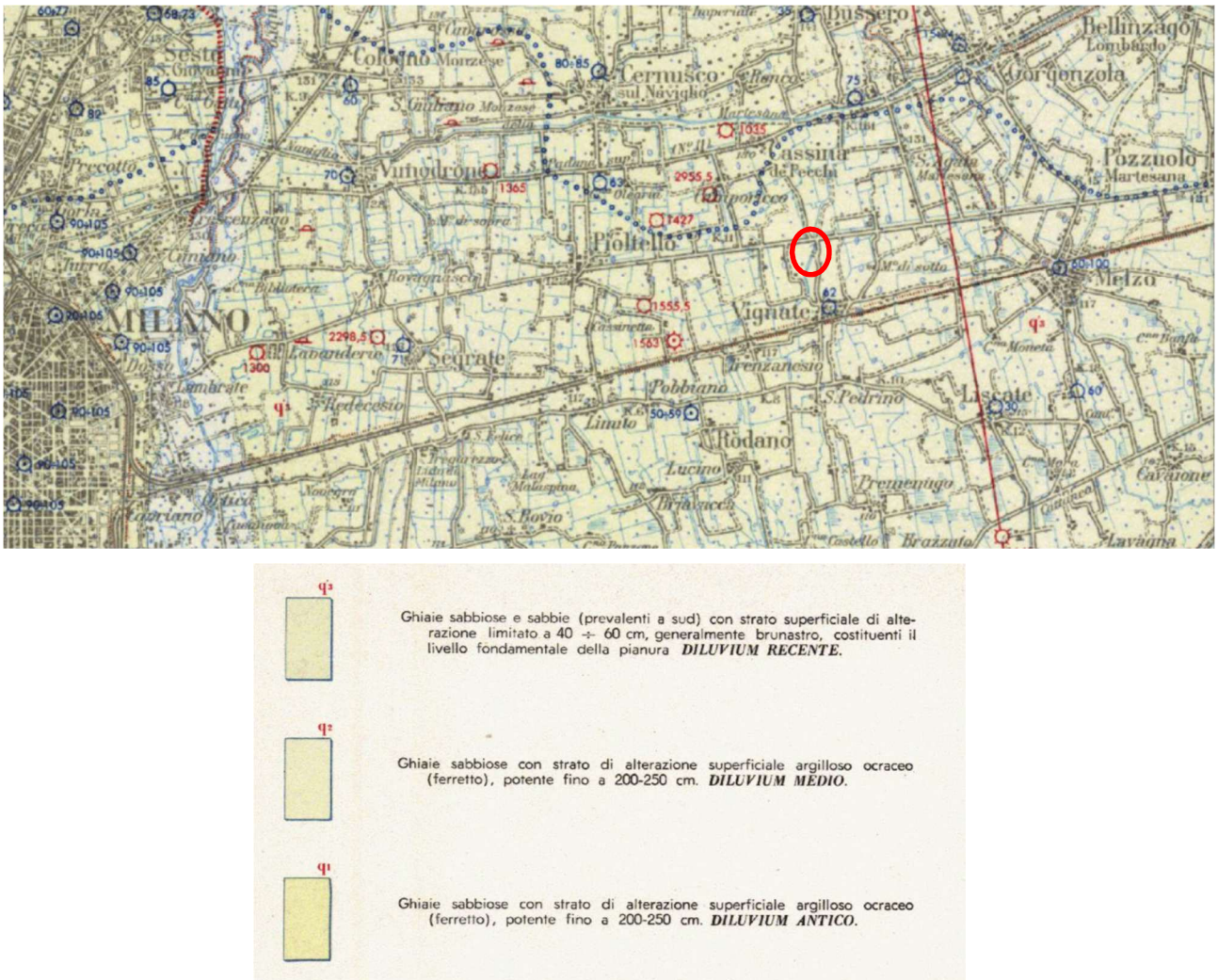


Figura 4: Stralcio del F.° 45-- Della Carta Geologica d'Italia in scala 1:100.000

3. TOMOGRAFIE ELETTRICHE

La metodologia geoelettrica è basata sul principio per cui inviando una corrente elettrica nel terreno per mezzo di due elettrodi si generano linee di corrente il cui percorso è funzione delle disomogeneità elettriche presenti al suo interno (Figura 5); in questo modo tali disomogeneità, intese come corpi o porzioni del sottosuolo aventi diversa capacità di condurre l'elettricità, influenzano con la loro presenza la distribuzione del potenziale elettrico.

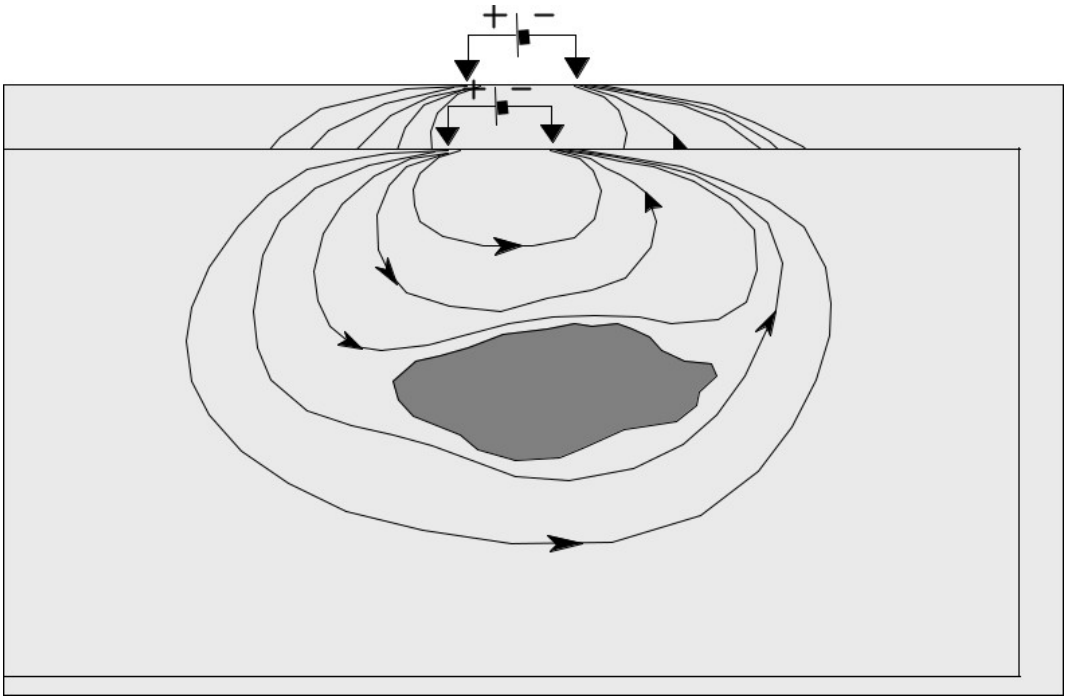


Figura 5: Circolazione della corrente nel sottosuolo in presenza di un corpo ad alta resistività

Le misure superficiali del potenziale, effettuate utilizzando un voltmetro collegato ad una seconda coppia di elettrodi, hanno lo scopo di evidenziare tali variazioni. Il valore viene definito resistività apparente (ρ_a).

La determinazione della resistività apparente avviene moltiplicando il rapporto tra la caduta di potenziale, misurata sulla coppia di elettrodi riceventi, e la corrente inviata per mezzo di quelli energizzanti, per un coefficiente geometrico che è funzione della disposizione dei quattro elettrodi sul terreno. Il problema dell'esatto valore della resistività riguarda i metodi di inversione dei dati a cui si accennerà nei paragrafi successivi.

La resistività apparente viene calcolata, per mezzo di queste misure, secondo la seguente formula

$$\rho_a = k \cdot (\Delta V / I)$$

dove:

$$k = \frac{2\pi}{\left(\frac{1}{r_{C1P1}} - \frac{1}{r_{C2P1}}\right) - \left(\frac{1}{r_{C1P2}} - \frac{1}{r_{C2P2}}\right)}$$

in cui:

r_{C1P1} = è la distanza tra C1 (elettrodotto 1 della coppia energizzante) e P1 (elettrodotto 1 della coppiaricevente);

r_{C2P1} = è la distanza tra C2 (elettrodotto 2 della coppia energizzante) e P1 (elettrodotto 1 della coppiaricevente);

r_{C1P2} = è la distanza tra C1 (elettrodotto 1 della coppia energizzante) e P2 (elettrodotto 2 della coppiaricevente);

r_{C2P2} = è la distanza tra C2 (elettrodotto 2 della coppia energizzante) e P2 (elettrodotto 2 della coppiaricevente).

ΔV è la differenza di potenziale misurata ai capi degli elettrodi riceventi; I è l'intensità di corrente inviata tra mite gli elettrodi energizzanti.

ACQUISIZIONE DEI DATI

L'acquisizione dei dati è stata realizzata seguendo la tecnica della pseudosezione adoperando la configurazione Wenner-Schlumberger. Tale dispositivo utilizza una disposizione degli elettrodi come schematizzato di seguito:

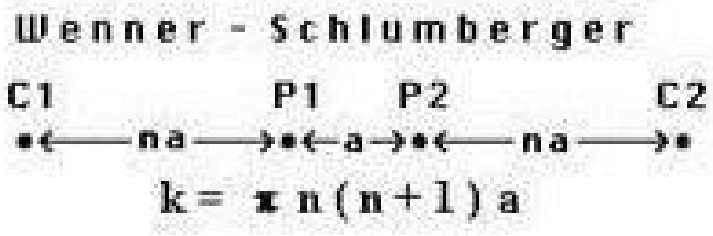


Figura 6: Dispositivo Wenner-Schlumberger

Questa tecnica di acquisizione consente di evidenziare le variazioni della resistività in due dimensioni e permette di rappresentare delle sezioni verticali che mostrano le variazioni della resistività del sottosuolo. La tecnica della pseudosezione quando si utilizzano strumentazioni multi-elettrodo prevede il posizionamento degli elettrodi lungo una linea retta ad intervalli regolari. La minima distanza che separa un elettrodo dall'altro viene detta distanza elettrodica e la distanza che separa l'elettrodo di corrente C2 da P1 (analogamente vale per P2 e C1), è indicata con la lettera n vedi figura 4. Questa distanza, ovviamente, risulta sempre essere un multiplo della distanza elettrodica. La successione delle misure prevede che fissati a ed n uguali ad uno, si sposti idealmente il quadripolo di misura lungo tutto il profilo, ripetendo le misure con il valore n incrementato fino a fargli assumere un valore massimo pari a 8. Per acquisire informazioni relativamente agli strati più profondi del terreno è possibile aumentare a ed acquisire ancora per tutte le combinazioni possibili del fattore n. Un esempio di copertura di dati che è possibile ottenere utilizzando questo dispositivo di misura può essere osservato in figura.

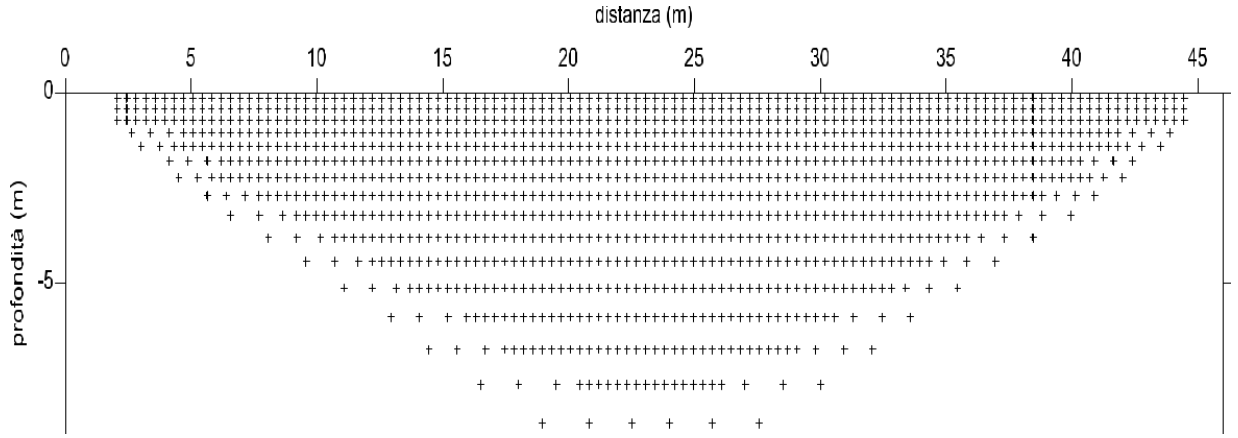


Figura 7: Punti di misura

Le immagini che è possibile ottenere per mezzo della tecnica della pseudosezione, come suggerisce lo stesso nome, non rappresentano sezioni reali; tuttavia, diversi autori ritengono che
in prima approssimazione esse possano essere considerate come rappresentazioni della situazione elettrica del sottosuolo e possano essere utilizzate per una preliminare interpretazione delle caratteristiche del sottosuolo.
Una fase successiva dell'elaborazione è chiamata inversione dei dati e viene affidata a particolari algoritmi, alcuni implementati in software commerciali come il Res2DInv della Geotomo Software. Questa elaborazione permette di passare dalle sezioni di resistività apparente (pseudosezioni) a sezioni "reali" in cui si può osservare l'effettiva variazione del parametro della resistività ed interpretare le anomalie in chiave geologica e stratigrafica.

La strumentazione utilizzata è un resistivimetro multielettrodo MAE modello A6000-S/E (Figura 4).

Figura 8: Strumentazione adoperata

Le caratteristiche del resistivimetro vengono riepilogate nella seguente tabella:

Tabella 1: Riepilogo delle caratteristiche della strumentazione utilizzata

SPECIFICHE

Corrente in uscita:

- Regolazione automatica (4 step)
- Intensità massima: 1,2 A a 50V
- Tensioni di uscita: ±50V, ±100V, ±250V, ±500V nominali
- Potenza massima: 60W (600W con generatore esterno opzionale)
- Tempo di immissione: impostabile da 110ms a 30s
- Precisione della misura: ±38µA

Misura di potenziale:

- Auto range (4 step)
- Fondo scala massimo: 50V
- Impedenza di ingresso: 1 MΩ
- Filtro frequenza di rete: 50 Hz
- Precisione della misura: massima ±38µV (nel range 0-1,25V), minima ±1,53mV (nel range 5-50V)
- Riduzione del rumore: con media da 2 a 10 misure
- Azzeramento automatico del potenziale spontaneo
- Accuratezza della resistività misurata: ±1%
- Caricabilità misurata su quattro finestre temporali di durata complessiva di 1,2 sec.

Generali:

- Elettrodi gestibili: 32 senza espansione, 256 con box di commutazione esterni
- Alimentazione: 12V DC, fornita da apposito power box con batterie da 24Ah.
- Assorbimento medio: 2A
- Formati dei dati: TSV, CSV, DAT
- Interfacce disponibili: LAN, USB, VGA
- Display LCD 10.4" con touch-screen optical bonding
- Sistema Operativo: Windows Embedded Standard 2009
- Condizioni ambientali di funzionamento: -20/80 °C
- Dimensioni e peso: L470 x H229 x P351 mm, 9 Kg

RISULTATI DELLE PROSPEZIONI GEOELETTRICHE

Nelle immagini riportate di seguito vengono rappresentate le tomografie relative ai profili acquisiti

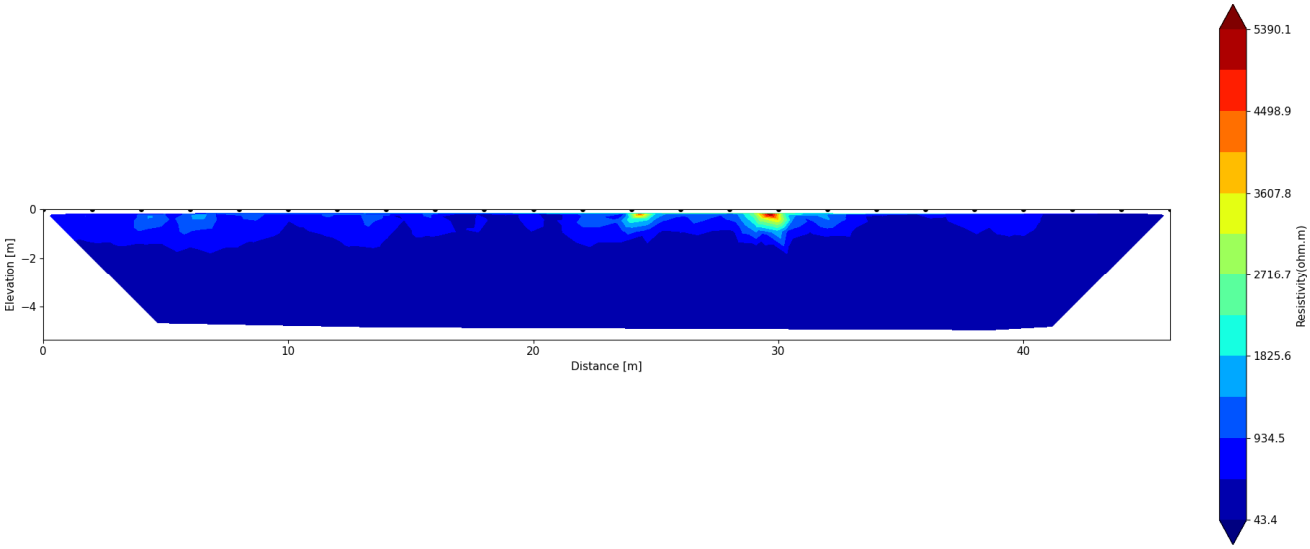


Figura 9: ERT – POSIZIONE CR07

4. RESISTIVITÀ TERMICA

La resistività termica rappresenta la resistenza offerta dal materiale allo smaltimento del Calore prodotto da una qualsiasi fonte di energia; esso è un valore che dipende dalle caratteristiche fisiche di un terreno ed in particolare dal grado di addensamento (indice dei vuoti) e dal grado di saturazione.

Il rilevamento delle caratteristiche del terreno circostante i cavi viene solitamente eseguito in corrispondenza degli scavi indagine aperti in occasione della scelta del tracciato definitivo di posa.

Le misure possono essere eseguite in qualsiasi periodo dell'anno in quanto sulla base di nostre esperienze, confortate da prove di laboratorio, si può affermare che il contenuto di umidità di un terreno a profondità superiori ad un metro si mantiene praticamente costante nel tempo. Se si avesse un aumento dell'umidità del terreno, dovuto a precipitazioni meteoriche o ad un abbassamento della temperatura esterna, favorirebbe un aumento della conducibilità termica del terreno.

I valori della conducibilità termica di un terreno o di una roccia dipendono principalmente da alcuni fattori:

- La quantità di Quarzo presente nella roccia o nel sedimento sciolto. Tra tutti i minerali, esso è quello con il valore λ maggiore (circa 7 W/mK). In generale la mineralogia è uno dei fattori più importanti nell'influenzare il valore totale di λ di una litologia, ma non è l'unico;
- La densità, in quanto maggiore è il suo valore e maggiori saranno i valori stessi di λ. Più un materiale è denso e più facilmente il calore viene trasferito grazie allo strettissimo contatto delle particelle;
- Il contenuto d'acqua, che, aumentando, determina un aumento tangibile della conduttività termica di un materiale. Ciò significa che un terreno saturo o una roccia fratturata con acqua presente nelle fratture presenterà generalmente una migliore conducibilità termica tra vuoti interconnessi nei quali l'acqua può liberamente circolare;
- La porosità: maggiore è il suo valore e minore è la conduttività termica. Più la roccia o il sedimento sono porosi e meno le particelle che li compongono riescono trasferire il calore. Se il fluido di saturazione dei pori è l'acqua, il valore di λ è più alto rispetto a saturazione con aria;
- L'anisotropia della roccia in esame.

Si è scelto di eseguire le misurazioni perpendicolarmente alle eventuali stratificazioni o scistosità presenti, in quanto maggiormente cautelative.

Per l'esecuzione delle misure di resistività termica è stata utilizzata l'attrezzatura TCR24, la quale si caratterizza per la massima accuratezza nell'acquisizione dati con risoluzione a 24 bit, unita alla grande versatilità e semplicità di impiego.

Questa tipologia di indagine viene effettuata, solitamente, prima della messa in posa di cavidotti interrati, oppure prima della realizzazione di pozzi geotermici per il prelievo di calore dal terreno ad uso riscaldamento o condizionamento di edifici.

La misura può essere effettuata in-situ con la sonda in dotazione, oppure, qualora siano necessarie

indagini a profondità maggiori di 120 cm, è possibile prelevare campioni di terreno compattato (carote) ed effettuare la misura in laboratorio. Per le analisi che si conducono in laboratorio, si consiglia l'utilizzo di un'apposita sonda (codice CTS45).

Il dato acquisito può essere esaminato direttamente in campagna poiché espresso graficamente e numericamente in W⁄mK dove:

W= watt = unità di potenza, m= metro = unità di distanza e K= kelvin = unità di temperatura.

Per le procedure dei test in laboratorio si rimanda alla normativa *ASTMD 5334 – 14*; in campagna è sufficiente praticare un preforo nel terreno mediante un comune trapano o altro mezzo a disposizione ed una punta di perforazione con asta di prolunga che viene fornita in dotazione. La sonda fornita in fase d'ordine viene infissa nel foro preparato con apposita punta di perforazione (codice CTP120) e si inserisce il puntale della sonda (codice CTS120) per circa 20 cm.

Si avvia la procedura di acquisizione dati, gestita in modo automatico dall'ostruimento, della durata di pochi minuti. Il dato viene archiviato su memoria interna (la disponibilità di spazio di archiviazione può essere considerata illimitata) per essere successivamente elaborato con software dedicato TCReader fornito in dotazione.

La meccanica e l'elettronica del TCR24 sono custoditi in un robusto contenitore in polipropilene di colore giallo a chiusura ermetica che ne consente l'uso anche in ambienti e in condizioni poco favorevoli. Il display consente la visualizzazione immediata delle curve caratteristiche rendendo possibile verificare e interpretare i segnali che si registrano ed eventualmente intervenire per raffinare la fase di acquisizione.

Figura 10: Strumento TCR24

Componenti della strumentazione

	CTS120	Sonda per la misura in terreni di 120 cm Adatta a suoli, materiali di riempimento termico, sedimenti, prodotti alimentari, polveri, fanghi, vernici, colle e vari altri materiali. Condizioni ottimali di lavoro: da 0°C a 50°C Normative: ASTM D 5334-14, D 5930-97 e IEEE 442-1981.
	CTP120	Punta di perforazione da trapano per praticare il foro di sondaggio in cui calare la sonda: diametro 18 mm; lunghezza 1,25 m; asta in acciaio inox.
	CTS45 (opzionale, su richiesta)	Sonda per la misura in terreni e da laboratorio, 45 cm Adatta a suoli, materiali di riempimento termico, sedimenti, prodotti alimentari, polveri, fanghi, vernici, colle e vari altri materiali. Condizioni ottimali di lavoro: da 0°C a 50°C Normative: ASTM D 5334-14, D 5930-97 e IEEE 442-1981.

Specifiche tecniche dello strumento

GENERALI	
CPU	CORE4418
Peso	3 kg
Dimensioni (cm)	27,1 x 24,8 x 12,3
Alimentazione	Li-ion 10,8V/12,4Ah
Autonomia	> 8 ore
Condizione ambientali	-20°C / 70°C
Interfacce	USB
Display	TFT-LCD capacitivo da 7" con touch-screen
Contenitore	IP67
Codice HS	90158011
ACQUISIZIONE	
Tipologia di misura	Resistività e conducibilità termica
Numero canali	2
ADC	24 bit
Conducibilità termica	da 0,1 a 6 W/m*K
Resistività termica	da 0,17 a 10 m*K/W
Memoria interna	5GB fino a 300000 acquisizioni
Accuratezza	+/- 6%
Intervallo di misura	da 300s a 900s
Lunghezza lancia	1,2m
Lunghezza sonda	0,17 m
Diametro sonda	6,3 mm

Il metodo di misurazione si basa sul cosiddetto *Non Steady State Probe (NSSP)*, tecnica che utilizza una sonda (ago termico) in cui sono incorporati un filo di riscaldamento e un sensore di temperatura. La sonda viene inserita nel terreno ed è possibile con lo strumento misurare la risposta ad un riscaldamento incrementale così da poter calcolare la resistività termica del terreno. La fase di misura che TCR24 esegue segue quanto descritto in:

- Guida IEEE (standard IEEE 442-1981)
- ASTM D 5334-14 Metodo di prova standard per la determinazione di conduttività termica di suolo e roccia molle.

Il principio si basa sulla proprietà di sorgente lineare: dopo un breve periodo transitorio l'aumento di temperatura ΔT, dipende solo dalla potenza del riscaldatore Q e dalla conducibilità termica λ.
Misurando la potenza del riscaldatore e tracciando la temperatura nel tempo può essere calcolata la conducibilità termica del terreno. Questo parametro influisce sulla capacità di un materiale di condurre il calore o fungere da isolante, vale a dire che maggiore è il valore di λ o k, meno isolante è il materiale.

In fisica, la conducibilità termica, o conduttività termica, è una grandezza fisica che misura l'attitudine di una sostanza a trasmettere il Calore attraverso la conduzione termica, quando i contributi al trasferimento di calore per convezione e per irraggiamento termico siano trascurabili. Essa dipende dalla natura del materiale, ma non dalla sua forma, e lega la densità di corrente termica al gradiente di temperatura che provoca il passaggio del calore. Nelle unità del Sistema Internazionale, la conducibilità termica è misurata in W/mK (watt su metro- kelvin), essendo il watt l'unità di misura della potenza, il metro l'unità di misura della lunghezza e il kelvin l'unità di misura della temperatura. La definizione deriva dalla legge di Fourier che determina il flusso di calore che si instaura attraverso una superficie unitaria di spessore unitario sottoposta ad un gradiente termico. In genere, la conducibilità termica va di pari passo con la conducibilità elettrica; ad esempio, i metalli presentano valori elevati di entrambe. Una notevole eccezione è costituita dal diamante, che ha un'elevata conducibilità termica, ma una scarsa conducibilità elettrica. Lo strumento TCR24 applica la formula espressa per il calcolo specifico della conducibilità termica:

$$k = \frac{Q}{4\pi\Delta T} \ln\left(t_2/t_1\right)$$

Questa formula è un'approssimazione del primo ordine ed è valida solo a determinate condizioni, tra cui che il mezzo investigato ha ragionevole contatto termico con la sonda e che questa è stabile e non subisce movimenti e che il terreno può definirsi termicamente stabile. La misura viene quindi effettuata in maniera assoluta.

Oltre al termine descritto di conducibilità termica, il TCR24 visualizza anche il termine di resistività termica e calcolato come:

$$R_t = \frac{1}{k}$$

[unità di misura m*K/W]

La prova è stata eseguita ad una profondità di 0,60 m

RT CR 07

Impostazioni misura

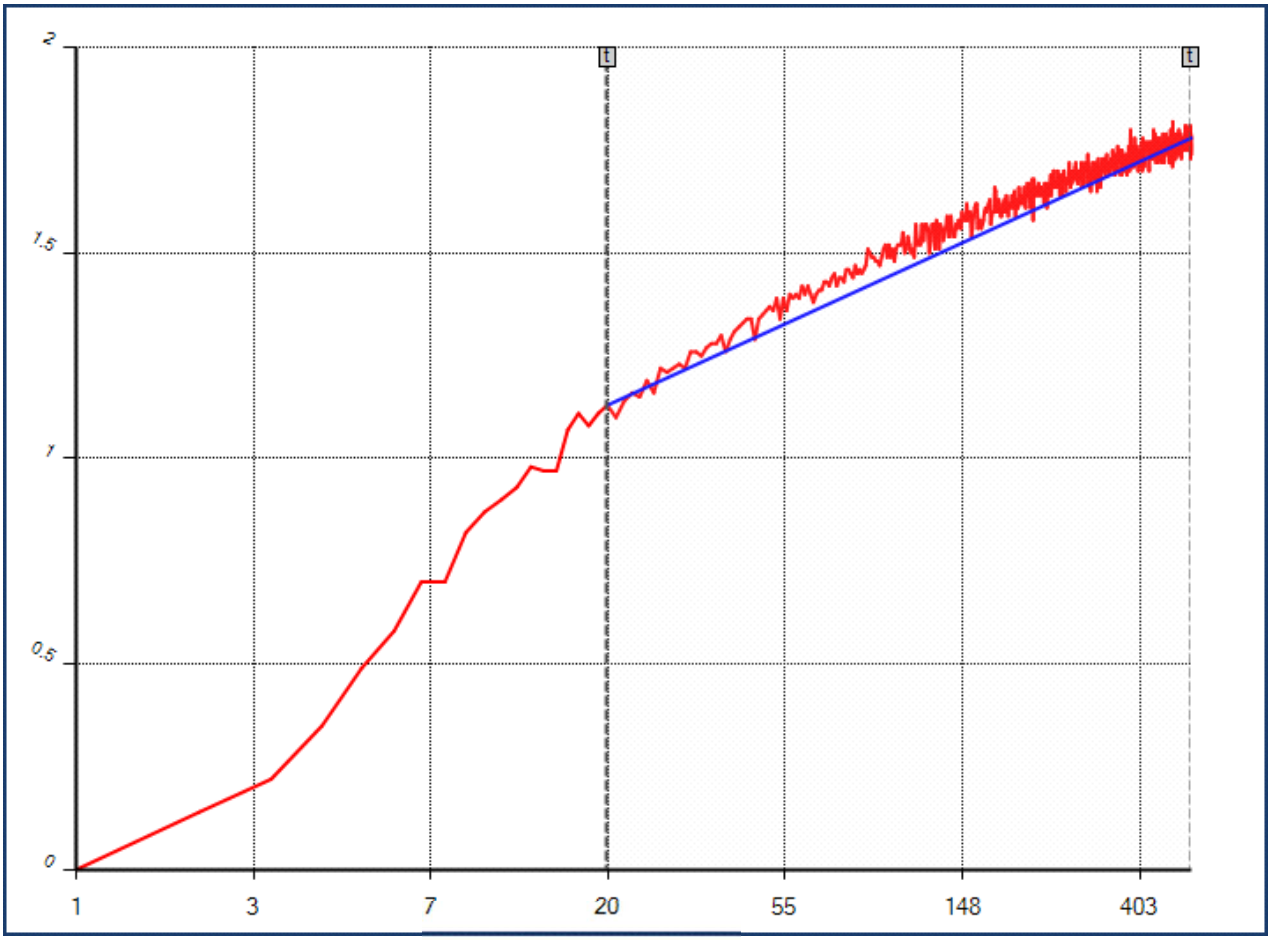
Resistenza sonda	: **83.18** Ohm/m
Tensione riscaldatore	: **4** V
Potenza riscaldatore	: **4.41171** W/m
Durata	: **540** s

Parametri di calcolo

t1	: **20** s
t2	: **539** s
T1	: **8.26** °C
T2	: **8.91** °C

Risultati

Conducibilità termica	: **1.779** W/mK
Resistività termica	: **0.562** mK/W
Temperatura iniziale	: **7.13** °C
Temperatura finale	: **8.87** °C



IL GEOLOGO
Dott. Geol. Giovanni Paolo Ottomanelli